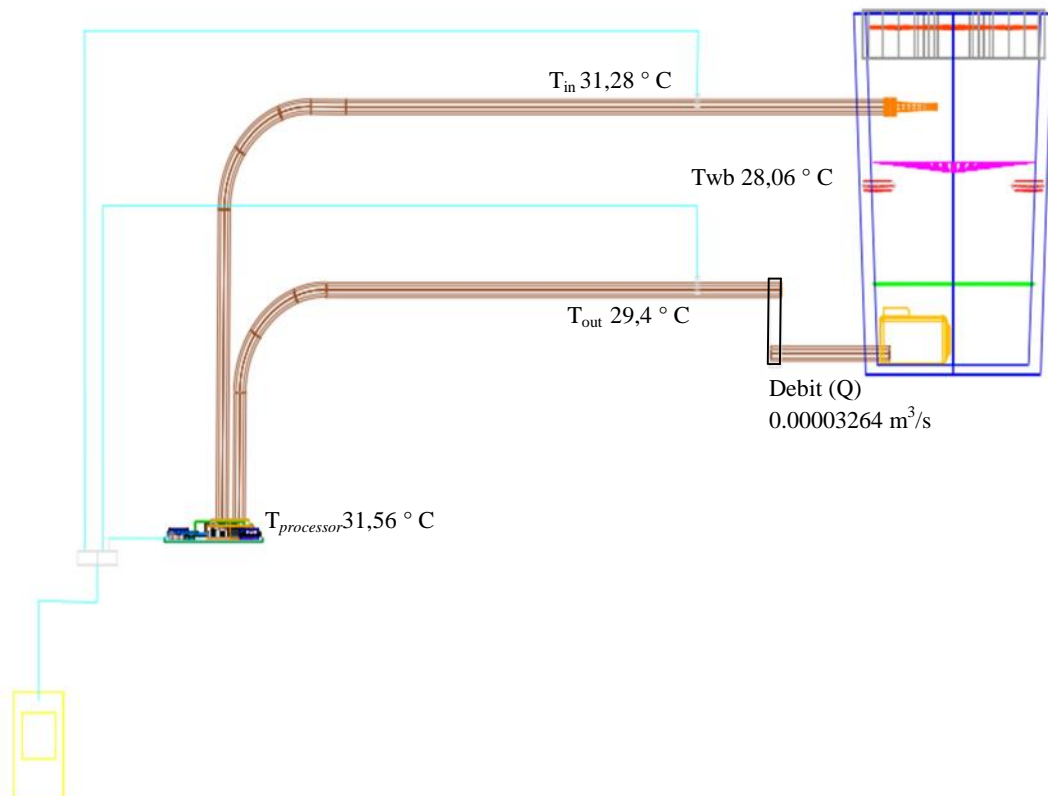


BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Data dan Hasil Perhitungan

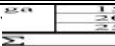
Dari serangkaian proses pengujian yang telah dilakukan pada *Cooling Tower* mini didapatkan nilai temperatur dan debit aliran air dimana data ini didapatkan langsung dari alat ukur, proses pengambilan data dilakukan selama 3 hari, dengan rentang waktu selama 24 Jam pada pukul 15.00, sebanyak 5 kali dengan waktu operasi masing-masing 5 min, kemudian diambil nilai rata-ratanya, baik pada *Cooling Tower* mini yang menggunakan *fill* ataupun yang tidak menggunakan *fill*. Skema data rata-rata yang telah diambil dapat dilihat pada gambar 4.1 sebagai berikut ini :



Gambar 4.1 Skema pengambilan data

Adapun data yang telah didapat dapat dilihat pada tabel 4.1 dan tabel 4.2 sebagai berikut:

Tabel 4.1 Data aktual pengujian tanpa menggunakan *fill*

No	Hari	Waktu Operasi	Temp. Air Masuk CT	Temp. Air Keluar CT	Temp. Wet Bulb	Temp. Processor		Debit Air	
		t	T _{in}	T _{out}	T _{wb}	T _{Pro. CT}	T _{Pro. Fan}	Q	Q
		min	°C	°C	°C	°C	°C	m ³ /s	l/min
1.	Pertama	5	30,00	29,40	28,00	31,20	38,40	3,00 x10 ⁻⁵	1,80
2.		10	31,10	29,40	28,00	31,60	39,40	3,16 x10 ⁻⁵	1,90
3.		15	31,10	29,30	28,00	31,20	41,00	3,33 x10 ⁻⁵	2,00
4.		20	31,50	29,70	28,20	31,60	39,00	3,33 x10 ⁻⁵	2,00
5.		25	31,90	30,00	28,00	31,80	41,20	3,50 x10 ⁻⁵	2,10
1.	kedua	5	30,20	29,30	28,20	31,10	38,30	3,00 x10 ⁻⁵	1,80
2.		10	31,10	29,40	28,10	31,50	39,50	3,33 x10 ⁻⁵	2,00
3.		15	31,20	29,50	28,00	31,80	41,00	3,33 x10 ⁻⁵	2,00
4.		20	31,70	29,80	28,20	31,70	39,10	3,33 x10 ⁻⁵	2,00
5.		25	31,90	30,90	28,00	31,70	41,30	3,50 x10 ⁻⁵	2,10
1.	ketiga	5	30,90	29,50	28,20	31,10	38,30	3,16 x10 ⁻⁵	1,90
2.		10	31,30	29,40	28,00	31,50	39,30	3,16 x10 ⁻⁵	1,90
3.		15	31,40	29,40	28,20	31,80	41,00	3,33 x10 ⁻⁵	2,00
4.		20	31,50	29,70	28,00	31,40	39,02	3,50 x10 ⁻⁵	2,10
5.		25	31,80	30,70	28,00	31,90	41,03	3,50 x10 ⁻⁵	2,10
			31,24	29,69	28,07	31,52	39,85	3,28 x10 ⁻⁵	1,98

Tabel 4.2 Data aktual pengujian dengan menggunakan *fill*

No	Hari	Waktu Operasi	Temp. Air Masuk CT	Temp. Air Keluar CT	Temp. Wet Bulb	Temp. Processor		Debit Air	
		t	T _{in}	T _{out}	T _{Wb}	T _{Pro. CT}	T _{Pro. Fan}	Q	Q
		min	°C	°C	°C	°C	°C	m ³ /s	l/min
1.	Pertama	5	31,70	30,10	30,10	33,20	38,40	3,33 x10 ⁻⁵	2,00
2.		10	31,90	30,30	30,30	34,60	39,40	3,16 x10 ⁻⁵	1,90
3.		15	31,90	30,40	30,40	34,60	41,00	3,16 x10 ⁻⁵	1,90
4.		20	32,20	31,00	31,00	34,80	39,00	3,00 x10 ⁻⁵	1,80
5.		25	32,10	31,00	31,00	35,00	41,20	3,16 x10 ⁻⁵	1,90
1.	kedua	5	31,60	30,20	30,20	33,10	39,30	3,16 x10 ⁻⁵	1,90
2.		10	31,80	30,30	30,30	33,30	41,20	3,33 x10 ⁻⁵	2,00
3.		15	31,80	30,50	30,50	34,50	39,30	3,00 x10 ⁻⁵	1,80
4.		20	32,30	31,00	31,00	34,70	39,40	3,16 x10 ⁻⁵	1,90
5.		25	32,30	31,10	31,10	34,60	41,20	3,00 x10 ⁻⁵	1,80
1.	ketiga	5	31,70	30,20	30,20	34,50	40,40	3,16 x10 ⁻⁵	1,90
2.		10	31,90	30,20	30,20	34,50	41,20	3,16 x10 ⁻⁵	1,90
3.		15	31,80	30,10	30,10	33,40	41,30	3,33 x10 ⁻⁵	2,00
4.		20	32,30	31,00	31,00	33,30	41,30	3,00 x10 ⁻⁵	1,80
5.		25	32,40	31,40	31,40	33,50	41,20	3,16 x10 ⁻⁵	1,90
			31,98	30,56	28,08	34,10	40,26	3,18 x10 ⁻⁵	1,89

Dari tabel 4.1 diperoleh nilai rata-rata dari data pengukuran sebagai berikut :

- T_{in} = 31,24 ° C
- T_{out} = 29,69° C
- T_{wb} = 28,07° C
- $T_{Processor}$ = 31,59° C
- Q = 3,28 x 10⁻⁵ m³/s

Lalu dengan menggunakan tabel A-2 *Boiling and freezing point properties*, Yunus A. Cengel, pada suhu 31,28 ° C secarainterpolasi didapatkan data :

- $C_{p_{air}}$ = 4,18 kJ/kg·°C
- ρ_{air} = 994,754 kg/m³

Setelah input data yang diperlukan diperoleh maka dengan menggunakan persamaan 2.1,2.2,2.3 dan 2.4 dapat dihitung efektivitas dan kapasitas *Cooling Tower* mini sebagai berikut :

a. *Range Cooling Tower* mini

$$\begin{aligned} Range &= (T_{in} - T_{out}) \\ &= (31,24^\circ \text{C} - 29,69^\circ \text{C}) \\ &= 1,55^\circ \text{C} \end{aligned}$$

b. *Approach Cooling Tower* mini

$$\begin{aligned} Approach &= (T_{out} - T_{wb}) \\ &= (29,69^\circ \text{C} - 28,07^\circ \text{C}) \\ &= 1,62^\circ \text{C} \end{aligned}$$

c. Efektivitas *Cooling Tower* mini

$$\begin{aligned} \text{Efektivitas} &= \frac{Range}{(Range + Approach)} \times 100 \% \\ &= \frac{1,55}{(1,55 + 1,62)} \times 100 \% \\ &= \frac{1,55}{3,17} \times 100 \% \\ &= 0,488959 \times 100 \% \\ &= 48,8959 \% \end{aligned}$$

d. Kapasitas *Cooling Tower* mini

Sebelum menghitung Kapasitas *Cooling Tower* mini maka terlebih dahulu menghitung laju aliran massa fluida dimana fluida di sini adalah air, yaitu sebagai berikut :

$$\begin{aligned} &= Q \times \rho_{\text{air}} \\ &= 3,28 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} \times 994,754 \text{ kg/m}^3 \\ &= 0,0326 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

Setelah laju aliran massa diperoleh, maka kapasitas *Cooling Tower* mini dapat dihitung dengan persamaan 2.4 sebagai berikut :

$$\begin{aligned} q &= \dot{m} \times c_{p,\text{air}} \times (T_{\text{in}} - T_{\text{out}}) \\ q &= 0,033 \text{ kg/s} \times 4,18 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C} \times (31,24 ^\circ\text{C} - 29,69 ^\circ\text{C}) \\ q &= 0,033 \text{ kg/s} \times 4,18 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C} \times 1,55 ^\circ\text{C} \\ q &= 0,2109 \text{ kW} \end{aligned}$$

Setelah semua data dihitung maka data-data tersebut disajikan pada tabel, untuk *Cooling Tower* mini tanpa menggunakan *fill* disajikan pada tabel 4.3 sebagai berikut :

Tabel 4.3 Hasil perhitungan dan data pengujian *Cooling Tower* mini tanpa menggunakan *fill*

No.	Hari	Waktu Operasi	Temp. Air Masuk CT	Temp. Air Keluar CT	Temp. Wet Bulb	Temp. Processor		Debit Air		Laju Aliran massa	Range	Approach	Efektivitas	Kapasitas
		t	T _{in}	T _{out}	T _{wb}	T _{processor CT}	T _{processor Fan}	Q						q
		min	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(l/min)	m³/s	(kg/s)	(°C)	(°C)	%	kW
1.	Pertama	5	30,00	29,40	28,00	31,20	38,40	1,80	3,00 x10 ⁻⁵	0,02	0,60	1,40	30,00	0,07
2.		10	31,10	29,40	28,00	31,60	39,40	1,90	3,16 x10 ⁻⁵	0,03	1,70	1,40	54,83	0,22
3.		15	31,10	29,30	28,00	31,20	41,00	2,00	3,33 x10 ⁻⁵	0,03	1,80	1,30	58,06	0,24
4.		20	31,50	29,70	28,20	31,60	39,00	2,00	3,33 x10 ⁻⁵	0,03	1,80	1,50	54,55	0,24
5.		25	31,90	30,00	28,00	31,80	41,20	2,10	3,50 x10 ⁻⁵	0,03	1,90	2,00	48,72	0,27
1.	Kedua	5	30,20	29,30	28,20	31,10	38,40	1,80	3,00 x10 ⁻⁵	0,02	0,60	1,40	30,00	0,07
2.		10	31,10	29,40	28,10	31,50	39,40	1,90	3,16 x10 ⁻⁵	0,03	1,70	1,40	54,84	0,22
3.		15	31,20	29,50	28,00	31,80	41,00	2,00	3,33 x10 ⁻⁵	0,03	1,80	1,30	58,06	0,24
4.		20	31,70	29,80	28,20	31,70	39,00	2,00	3,33 x10 ⁻⁵	0,03	1,80	1,50	54,55	0,24
5.		25	31,90	30,90	28,00	31,70	41,20	2,10	3,50 x10 ⁻⁵	0,03	1,90	2,00	48,72	0,27
1.	Ketiga	5	30,90	29,50	28,20	31,10	38,40	1,80	3,00 x10 ⁻⁵	0,02	0,60	1,40	30,00	0,07
2.		10	31,30	29,40	28,00	31,50	39,40	1,90	3,16 x10 ⁻⁵	0,03	1,70	1,40	54,84	0,22
3.		15	31,40	29,40	28,20	31,80	41,00	2,00	3,33 x10 ⁻⁵	0,03	1,80	1,30	58,06	0,24
4.		20	31,50	29,70	28,00	31,40	39,00	2,00	3,33 x10 ⁻⁵	0,03	1,80	1,50	54,55	0,24
5.		25	31,80	30,70	28,00	31,90	41,20	2,10	3,50 x10 ⁻⁵	0,03	1,90	2,00	48,72	0,27
			31,24	29,69	28,07	31,52	40,26	1,98	3,28 x10 ⁻⁵	0,03	1,55	1,62	48,84	0,21

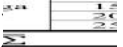
Kemudian data hasil pengukuran dan perhitungan *Cooling Tower* mini tanpa *fill* selama 3 hari berturut-turut diambil nilai rata-ratanya pada setiap waktu operasi yang memiliki rentang waktu selama 5 menit, nilai rata-rata tersebut disajikan pada tabel 4.4 sebagai berikut :

Tabel 4.4 Hasil perhitungan dan data pengujian rata-rata *Cooling Tower* mini tanpa menggunakan *fill*

No.	Waktu operasi	Temp. Air Masuk CT	Temp. Air Keluar CT	Temp. Wet Bulb	Temp. Processor		Debit Air		Laju Aliran massa	Range	Approach	Efektivitas	Kapasitas
	t	T _{in}	T _{out}	T _{wb}	T _{processor CT}	T _{processor Fan}	Q						q
	min	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(l/min)	m ³ /s	(kg/s)	(°C)	(°C)	%	kW
1.	5	30,36	29,40	28,13	31,13	38,40	1,80	3,00 x10 ⁻⁵	0,02	0,60	1,40	30,00	0,07
2.	10	31,16	29,40	28,03	31,53	39,40	1,90	3,16 x10 ⁻⁵	0,03	1,70	1,40	54,83	0,22
3.	15	31,23	29,40	28,06	31,60	41,00	2,00	3,33 x10 ⁻⁵	0,03	1,80	1,30	58,06	0,24
4.	20	31,56	29,73	28,13	31,56	39,00	2,00	3,33 x10 ⁻⁵	0,03	1,80	1,50	54,55	0,24
5.	25	31,86	30,53	28,00	31,80	41,20	2,10	3,50 x10 ⁻⁵	0,03	1,90	2,00	48,72	0,27

Adapun hasil perhitungan dan data pengujian untuk *Cooling Tower* mini yang menggunakan *fill* disajikan pada tabel 4.5 sebagai berikut :

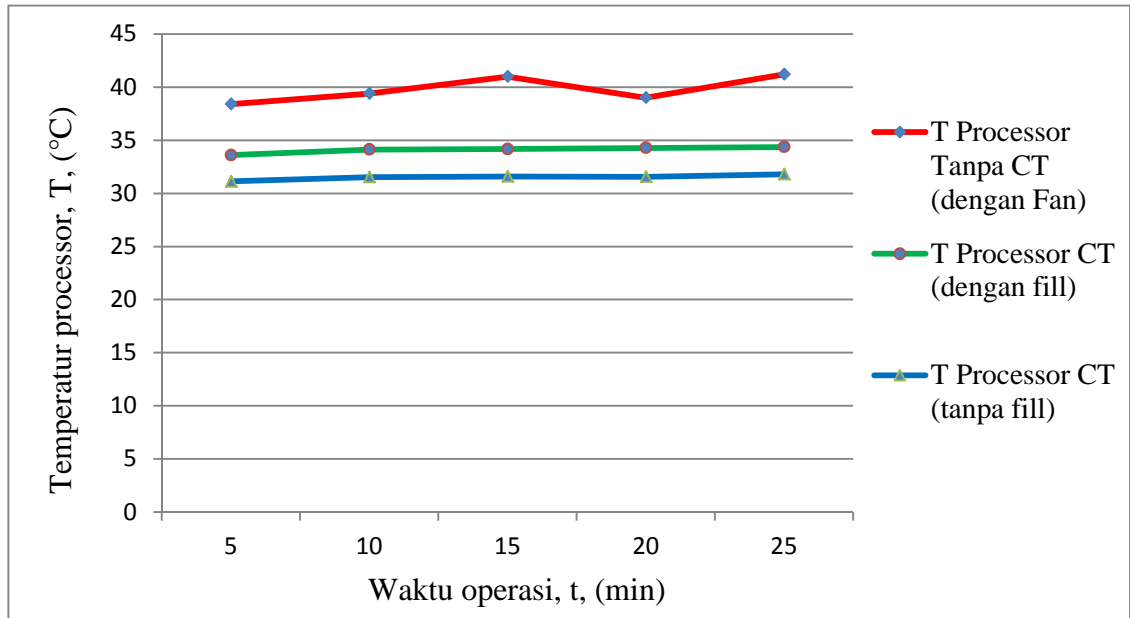
Tabel 4.5 Hasil perhitungan dan data pengujian *Cooling Tower* mini yang menggunakan *fill*

No.	Hari	Waktu Operasi	Temp. Air Masuk CT	Temp. Air Keluar CT	Temp. Wet Bulb	Temp. Processor		Debit Air		Laju Aliran massa	Range	Approach	Efektivitas	Kapasitas
		t	T _{in}	T _{out}	T _{wb}	T _{processor CT}	T _{processor Fan}	Q						q
		min	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(l/min)	m ³ /s	(kg/s)	(°C)	(°C)	%	kW
1.	Pertama	5	31,70	30,10	28,00	33,20	38,40	2,00	3,33 x10 ⁻⁵	0,03	1,60	2,10	43,24	0,22
2.		10	31,90	30,30	28,00	34,60	39,40	1,90	3,16 x10 ⁻⁵	0,03	1,60	2,30	41,02	0,21
3.		15	31,90	30,40	28,00	34,60	41,00	1,90	3,16 x10 ⁻⁵	0,03	1,50	2,40	38,46	0,19
4.		20	32,20	31,00	28,20	34,80	39,00	1,80	3,00 x10 ⁻⁵	0,02	1,20	2,80	30,00	0,14
5.		25	32,10	31,00	28,20	35,00	41,20	1,90	3,16 x10 ⁻⁵	0,03	1,10	2,80	28,21	0,15
1.	Kedua	5	31,60	30,20	28,20	33,10	38,40	1,90	3,16 x10 ⁻⁵	0,03	1,40	2,00	41,17	0,18
2.		10	31,80	30,30	28,10	33,30	39,40	2,00	3,33 x10 ⁻⁵	0,03	1,50	2,20	40,54	0,21
3.		15	31,80	30,50	28,00	34,50	41,00	1,80	3,00 x10 ⁻⁵	0,02	1,30	2,50	34,21	0,16
4.		20	32,30	31,00	28,20	34,70	39,00	1,90	3,16 x10 ⁻⁵	0,03	1,30	2,80	31,71	0,17
5.		25	32,30	31,10	28,00	34,60	41,20	1,80	3,00 x10 ⁻⁵	0,02	1,20	3,10	27,90	0,14
1.	Ketiga	5	31,70	30,20	28,20	34,50	38,40	1,90	3,16 x10 ⁻⁵	0,03	1,50	2,00	42,85	0,19
2.		10	31,90	30,20	28,00	34,50	39,40	1,90	3,16 x10 ⁻⁵	0,03	1,70	2,20	43,58	0,22
3.		15	31,80	30,10	28,20	33,40	41,00	2,00	3,33 x10 ⁻⁵	0,03	1,70	1,90	47,22	0,24
4.		20	32,30	31,00	28,00	33,30	39,00	1,80	3,00 x10 ⁻⁵	0,02	1,30	3,00	30,23	0,16
5.		25	32,40	31,00	28,00	33,50	41,20	1,90	3,16 x10 ⁻⁵	0,03	1,00	3,40	22,72	0,13
			31,98	30,58	28,08	34,10	40,26	1,89	3,20x10 ⁻⁵	0,03	1,38	2,50	35,56	0,18

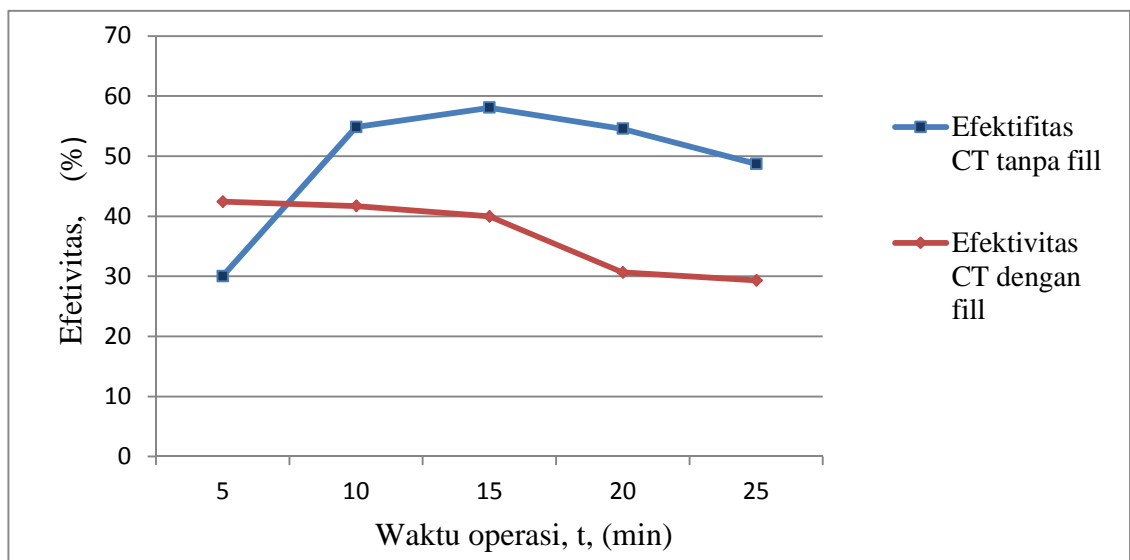
Tabel 4.6 Hasil perhitungan dan data pengujian rata-rata *Cooling Tower* mini menggunakan *fill*

No.	Waktu operasi	Temp. Air Masuk CT	Temp. Air Keluar CT	Temp. Wet Bulb	Temp. Processor		Debit Air		Laju Aliran massa	Range	Approach	Efektivitas	Kapasitas
	t	T _{in}	T _{out}	T _{wb}	T _{processor CT}	T _{processor Fan}	Q						q
	min	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(l/min)	m ³ /s	(kg/s)	(°C)	(°C)	%	kW
1.	5	31,66	30,16	28,13	33,60	38,40	1,93	3,21 x10 ⁻⁵	0,03	1,50	2,03	42,42	0,19
2.	10	31,86	30,26	28,03	34,13	39,40	1,93	3,21 x10 ⁻⁵	0,03	1,60	2,23	41,71	0,21
3.	15	31,83	30,33	28,06	34,17	41,00	1,90	3,16 x10 ⁻⁵	0,02	1,50	2,27	39,96	0,19
4.	20	32,26	31,00	28,13	34,27	39,00	1,83	3,05 x10 ⁻⁵	0,02	1,26	2,87	30,65	0,15
5.	25	32,27	31,17	28,07	34,36	41,20	1,96	3,16 x10 ⁻⁵	0,03	1,10	3,10	26,27	0,14

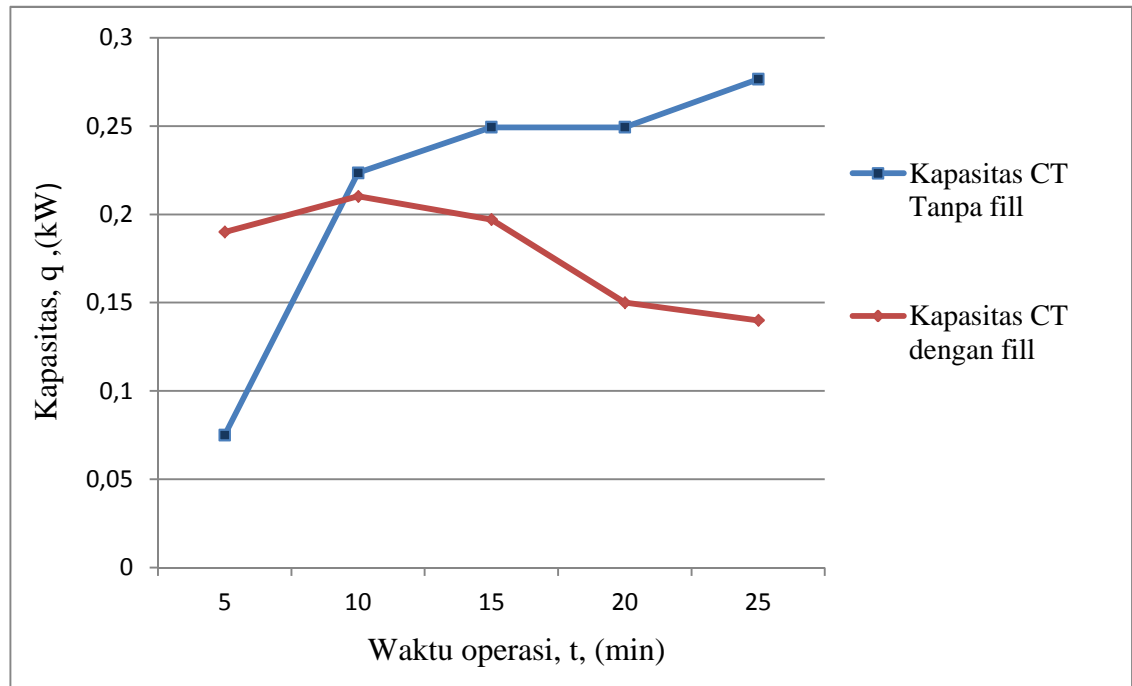
Bedasarkan data pada tabel 4.4 dan 4.6 yang telah diperoleh, kemudian dituangkan kedalam beberapa grafik untuk memudahkan proses analisa pembahasan yang dilakukan. Adapun grafik tersebut antara lain :



Gambar 4.2 Grafik perbandingan temperatur *processor* yang menggunakan *Cooling Tower* mini dengan *fill*, tanpa *fill* dan tanpa *Cooling tower* (dengan Fan) terhadap waktu operasi.



Gambar 4.3 Grafik perbandingan antara efektivitas terhadap waktu operasi *Cooling Tower* mini tanpa *fill* dan yang menggunakan *fill*



Gambar 4.4 Grafik perbandingan antara kapasitas terhadap waktu operasi *Cooling Tower* mini tanpa *fill* dan yang menggunakan *fill*.

4.2. Pembahasan

Pada penelitian ini, pengujian *Cooling Tower* mini diberikan 2 macam perlakuan yang berbeda, yaitu *Cooling Tower* mini yang diberikan *fill* dan yang tidak diberikan *fill*, dengan memberikan waktu operasi pengambilan data, dimana masing-masing pengambilan data tersebut dilakukan pada 3 hari yang berbeda secara berturut-turut dengan kelang waktu operasi selama 5 min, kemudian data yang terukur setiap titik waktu operasi tersebut diambil untuk kemudian disubstitusikan ke persamaan yang ada, guna mendapatkan nilai-nilai yang dikehendaki lalu nilai-nilai tersebut dituangkan ke dalam beberapa grafik agar proses menganalisa fenomena yang terjadi pada *Cooling Tower* mini menjadi lebih mudah.

Cooling Tower yang biasanya diperuntukan sebagai sistem pendingin yang berukuran besar dan digunakan untuk mendinginkan suatu sumber panas yang tinggi derajat temperaturnya di sini diubah menjadi sebuah sistem pendingin yang mini yang diaplikasikan untuk mendinginkan sebuah *processor* yang tentu saja selain bertujuan melihat fenomena yang terjadi, sekaligus untuk membuktikan bahwa sistem pendingin *Cooling Tower* ini lebih baik performanya dibandingkan

pendingin yang menggunakan sistem *fan*, hipotesa ini dapat dibuktikan pada gambar 4.2. grafik perbandingan temperatur *processor* yang menggunakan *Cooling Tower* mini menggunakan *fill*, tanpa *fill* dan sistem pendingin *fan* terhadap waktu operasi pengukuran, dari segi temperatur kerja yang dihasilkan di sini terlebih dahulu kita bandingkan sistem *Cooling Tower* mini yang menggunakan *fill* dan yang tanpa menggunakan *fill*, dari grafik terlihat bahwa *Cooling Tower* mini yang tidak menggunakan *fill*, lebih baik dalam mendinginkan *processor* dibandingkan *Cooling Tower* mini yang menggunakan *fill*, ini juga dibuktikan dari nilai rata-rata temperatur *processor* pada tabel 4.3 dan 4.5, yaitu temperatur rata-rata yang tidak menggunakan *fill* adalah 31,52 °C sedangkan yang menggunakan *fill* bernilai 34,10 °C, hal ini disebabkan karena air di dalam *reservoir* terhalang pelepasan panasnya oleh *fill* itu sendiri, akibatnya temperatur panas air yang ada di dalam *reservoir* tidak mampu dibuang maksimal oleh *fan*. Masih dalam gambar grafik yang sama, selanjutnya adalah kita bandingkan kedua sistem pendingin dalam kinerjanya mendinginkan *processor*, yaitu antara sistem pendingin *Cooling Tower* mini dengan sistem pendingin *fan*, dari data yang dimunculkan di grafik terlihat bahwa sistem pendingin *Cooling Tower* terbukti mampu melakukan pendinginan temperatur *processor* yang jauh lebih baik jika dibandingkan dengan sistem pendingin *fan*, ini juga dibuktikan dari nilai rata-rata temperatur *processor*, yaitu temperatur rata-rata *Cooling tower* tanpa *fill* adalah 31,52 °C dan yang menggunakan *fill* yaitu 34,10 °C, berbeda dengan temperatur *processor* yang menggunakan *fan*, nilainya lebih tinggi yaitu 40,26 °C, hal ini disebabkan oleh sifat air yang lebih baik menyerap panas dari pada udara .

Pada gambar 4.3 Grafik perbandingan antara efektivitas terhadap Waktu operasi pengukuran *Cooling Tower* mini tanpa *fill* dan yang menggunakan *fill*, untuk *Cooling Tower* mini tanpa *fill* diperoleh hasil bahwa pada Waktu operasi yang ke 15 min diperoleh nilai efektivitas tertinggi dari 5 kali pengukuran, yaitu 58,06 °C ini disebabkan karena selisih nilai T_{out} dan T_{wb} pada Waktu operasi ke 15 min adalah nilai selisih yang paling kecil. Lalu nilai rata-rata yang terdapat pada tabel 4.3 efektivitas yang diperoleh adalah 48,84 %, kemudian pada *Cooling Tower* mini yang menggunakan *fill*, terlihat bahwa nilai efektivitas yang tertinggi adalah pada saat waktu operasi pertama yaitu bernilai 42,42 %, Lalu nilai-rata

yang terdapat pada tabel 4.5 diperoleh nilai 35,56 %. Secara keseluruhan mengenai mengapa nilai efektivitas *Cooling Tower* tanpa *fill* lebih besar dari pada nilai efektivitas yang menggunakan *fill* disebabkan oleh terhambatnya kemampuan *fan* untuk menyerap panas pada air akibat *fill* yang terpasang.

Pada gambar 4.4 grafik perbandingan antara kapasitas terhadap waktu operasi pengukuran *Cooling Tower* mini tanpa *fill* dan yang menggunakan *fill*, terlihat bahwa semakin meningkatnya waktu maka kapasitas yang terjadi juga ikut meningkat, berarti kapasitas *Cooling Tower* mini tanpa *fill* berbanding lurus dengan waktu, nilai rata-rata yang dihasilkan yaitu 0,21 kW. Kemudian pada *Cooling Tower* yang menggunakan *fill* terlihat bahwa nilai kapasitas tertinggi adalah pada waktu operasi yang kedua, yaitu bernilai 0,21 kW, di sini juga terlihat bahwa semakin meningkatnya waktu operasi, maka kapasitas *Cooling Tower* mini ikut menurun dengan kata lain, nilai ini berbanding terbalik, sedangkan nilai rata-rata kapasitas yang terjadi adalah 0,18 kW. Secara keseluruhan nilai kapasitas yang dihasilkan *Cooling Tower* mini tanpa *fill* lebih baik dari pada yang menggunakan *fill*, hal ini disebabkan oleh terhambatnya laju kalor yang masuk dari *intake* udara saat akan dihisap oleh *fan* dan kemudian dilepaskan ke atmosfer, terhambat di sini karena terhalang oleh *fill* yang ada.

Dari nilai temperatur yang mampu didinginkan, efektivitas dan kapasitas *Cooling Tower* mini terlihat bahwa kemampuan terbaik *Cooling Tower* mini adalah *Cooling Tower* mini yang tidak menggunakan *fill*, hal ini disebabkan *fill* tersebut menghambat aliran panas yang ada di dalam *reservoir*.

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Pada pengujian *Cooling Tower* mini untuk komputer yang sedang beroperasi didapatkan nilai rata-rata efektivitas *Cooling Tower* mini tanpa menggunakan *fill* sebesar 48,84 %, sedangkan nilai rata-rata efektivitas *Cooling Tower* mini yang menggunakan *fill* sebesar 35,56 %. Kemudian nilai rata-rata kapasitas *Cooling Tower* mini tanpa menggunakan *fill* sebesar 0,21 kW, sedangkan nilai rata-rata kapasitas *Cooling Tower* mini yang menggunakan *fill* sebesar 0,18 kW. Nilai rata-rata efektivitas dan efisiensi *Cooling Tower* mini tanpa *fill* lebih besar dari pada yang menggunakan *fill*. Untuk nilai rata-rata temperatur *processor* yang terjadi pada *Cooling Tower* mini tanpa menggunakan *fill* sebesar 31,52 °C, sedangkan yang menggunakan *fill* sebesar 34,10 °C, kemudian yang hanya menggunakan Fan temperaturnya bernilai 40,26 °C. Dari nilai ini didapatkan bahwa sistem pendingin *Cooling Tower* mini lebih baik kinerjanya untuk mendinginkan temperatur *processor* dari pada sistem pendingin *fan*.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan, adapun saran yang dapat penulis rekomendasikan bagi peneliti lain yang mengambil topik sama berkaitan dengan *Cooling Tower* mini agar dapat mengkreasikan panjang selang yang digunakan untuk mengalirkan fluida, karena panjang dan ukuran diameter selang mempengaruhi kecepatan alir fluida tersebut.

Kemudian penulis juga menyarankan untuk mencoba jenis fluida lain selain air, yang tentu saja untuk mendapatkan efisiensi dan kapasitas terbaik dari *Cooling Tower* mini itu sendiri. Selain itu, untuk peneliti selanjutnya ialah mencoba memvariasikan debit aliran fluida yang ada, karena debit fluida sangat berpengaruh pada kapasitas *Cooling Tower*.

DAFTAR PUSTAKA

- Cengel, Yunus A., “*Heat Transfer A Practical Approach Second Edition*” , The McGraw-Hill Companies, Inc.,New York, 2003
- K. Shah, Ramesh & P. Sekulic, Dusan.,”*Heat Exchanger Design*”, John Wiley & Sons, INC
- Laporan Perencanaan Teknik Mesin (PTM),”*Pengujian Cooling Tower Kapasitas Laboratorium*”, Teknik Mesin,Universitas Bengkulu, 2010
- Mulyandasari, Viska., “*Cooling Tower Selection And sizing (Engineering Design Guideline)*”, KLM Technology Group, Malaysia, 2011
- Pedoman Efisiensi Energi untuk Industri di Asia : www.energyefficiencyasia.org tanggal 27 Februari 2014

LAMPIRAN A

MENARA PENDINGIN

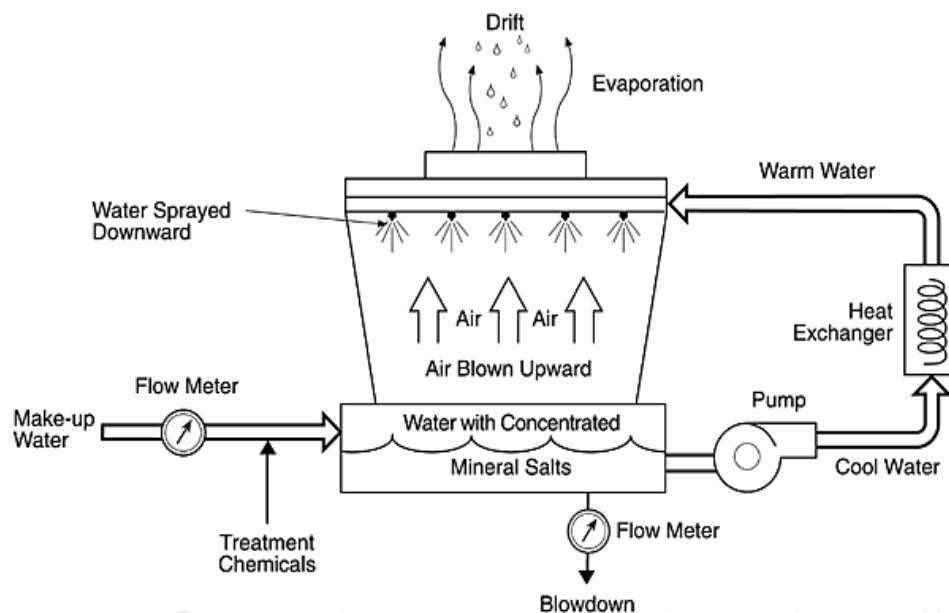
1. PENDAHULUAN.....	1
2. JENIS-JENIS MENARA PENDINGIN.....	4
3. PENGKAJIAN TERHADAP MENARA PENDINGIN	7
4. PELUANG-PELUANG EFISIENSI ENERGI	9
5. DAFTAR PERIKSA OPSI.....	14
6. LEMBAR KERJA.....	15
7. REFERENSI.....	16

1. PENDAHULUAN

Bagian ini menjelaskan secara ringkas tentang menara pendingin.

1.1 Apakah Menara Pendingin itu?

Air dingin diperlukan untuk, sebagai contoh, penyejuk udara/ AC, proses-proses manufaktur atau pembangkitan daya. Menara pendingin merupakan suatu peralatan yang digunakan untuk menurunkan suhu aliran air dengan cara mengekstraksi panas dari air dan mengemisikannya ke atmosfer. Menara pendingin menggunakan penguapan dimana sebagian air diuapkan ke aliran udara yang bergerak dan kemudian dibuang ke atmosfer. Sebagai akibatnya, air yang tersisa didinginkan secara signifikan (Gambar 1). Menara pendingin mampu menurunkan suhu air lebih dari peralatan-peralatan yang hanya menggunakan udara untuk membuang panas, seperti radiator dalam mobil, dan oleh karena itu biayanya lebih efektif dan efisien energinya.



Gambar 1. Diagram skematik sistim menara pendingin
(Laboratorium Nasional Pacific Northwest, 2001)

1.2 Komponen menara pendingin

Komponen dasar sebuah menara pendingin meliputi rangka dan wadah, bahan pengisi, kolam air dingin, *eliminator* aliran, saluran masuk udara, *louvers*, nosel dan fan. Kesemuanya dijelaskan dibawah.¹

Rangka dan wadah. Hampir semua menara memiliki rangka berstruktur yang menunjang tutup luar (wadah/*casing*), motor, fan, dan komponen lainnya. Dengan rancangan yang lebih kecil, seperti unit *fiber glass*, wadahnya dapat menjadi rangka.

Bahan Pengisi. Hampir seluruh menara menggunakan bahan pengisi (terbuat dari plastik atau kayu) untuk memfasilitasi perpindahan panas dengan memaksimalkan kontak udara dan air. Terdapat dua jenis bahan pengisi:

- Bahan pengisi berbentuk percikan/*Splash fill*: air jatuh diatas lapisan yang berurut dari batang pemercik horisontal, secara terus menerus pecah menjadi tetesan yang lebih kecil, sambil membasahi permukaan bahan pengisi. Bahan pengisi percikan dari plastik memberikan perpindahan panas yang lebih baik daripada bahan pengisi percikan dari kayu.
- Bahan pengisi berbentuk film: terdiri dari permukaan plastik tipis dengan jarak yang berdekatan dimana diatasnya terdapat semprotan air, membentuk lapisan film yang tipis dan melakukan kontak dengan udara. Permukaannya dapat berbentuk datar, bergelombang, berlekuk, atau pola lainnya. Jenis bahan pengisi film lebih efisien dan memberi perpindahan panas yang sama dalam volume yang lebih kecil daripada bahan pengisi jenis *splash*.

Kolam air dingin. Kolam air dingin terletak pada atau dekat bagian bawah menara, dan menerima air dingin yang mengalir turun melalui menara dan bahan pengisi. Kolam biasanya memiliki sebuah lubang atau titik terendah untuk pengeluaran air dingin. Dalam beberapa desain, kolam air dingin berada dibagian bawah seluruh bahan pengisi. Pada beberapa desain aliran yang berlawanan arah pada *forced draft*, air di bagian bawah bahan pengisi disalurkan ke bak yang berbentuk lingkaran yang berfungsi sebagai kolam air dingin. Sudu-sudu fan dipasang dibawah bahan pengisi untuk meniup udara naik melalui menara. Dengan desain ini, menara dipasang pada landasannya, memberikan kemudahan akses bagi fan dan motornya.

Drift eliminators. Alat ini menangkap tetes-tetes air yang terjebak dalam aliran udara supaya tidak hilang ke atmosfer.

Saluran udara masuk. Ini merupakan titik masuk bagi udara menuju menara. Saluran masuk bisa berada pada seluruh sisi menara (desain aliran melintang) atau berada dibagian bawah menara (desain aliran berlawanan arah).

Louvers. Pada umumnya, menara dengan aliran silang memiliki saluran masuk *louvers*. Kegunaan *louvers* adalah untuk menyamakan aliran udara ke bahan pengisi dan menahan air dalam menara. Beberapa desain menara aliran berlawanan arah tidak memerlukan *louver*.

¹ Bagian 1.2 diambil secara keseluruhan dari *Menara Pendingin*. Dalam: Efisiensi Energi pada Utilitas Listrik. Bab 7, hal. 135-151. 2004, dengan ijin dari Biro Efisiensi Energi, Kementerian Tenaga, India.

Nosel. Alat ini menyembrotkan air untuk membasahi bahan pengisi. Distribusi air yang seragam pada puncak bahan pengisi adalah penting untuk mendapatkan pembasahan yang benar dari seluruh permukaan bahan pengisi. Nosel dapat dipasang dan menyembrot dengan pola bundar atau segi empat, atau dapat menjadi bagian dari rakitan yang berputar seperti pada menara dengan beberapa potongan lintang yang memutar.

Fan. Fan aksial (jenis baling-baling) dan sentrifugal keduanya digunakan dalam menara. Umumnya fan dengan baling-baling/*propeller* digunakan pada menara *induced draft* dan baik fan *propeller* dan sentrifugal dua-duanya ditemukan dalam menara *forced draft*. Tergantung pada ukurannya, jenis fan *propeller* yang digunakan sudah dipasang tetap atau dengan dapat dirubah-rubah/ diatur. Sebuah fan dengan baling-baling yang dapat diatur tidak secara otomatis dapat digunakan diatas range yang cukup luas sebab fan dapat disesuaikan untuk mengirim aliran udara yang dikehendaki pada pemakaian tenaga terendah. Baling-baling yang dapat diatur secara otomatis dapat beragam aliran udaranya dalam rangka merespon perubahan kondisi beban.

1.3 Material untuk Menara

Pada mulanya menara pendingin dibuat terutama dari kayu, termasuk rangka, wadah, *louvers*, bahan pengisi dan kolam air dingin. Kadangkala kolam air dingin terbuat dari beton. Saat ini, telah digunakan berbagai macam bahan untuk membangun menara pendingin. Bahan-bahan dipilih untuk meningkatkan ketahanan terhadap korosi, mengurangi perawatan, dan turut mendukung kehandalan dan umur layanan yang panjang. Baja yang sudah digalvanis, berbagai kelas *stainless steel*, *fiber glass*, dan beton sangat banyak digunakan dalam pembuatan menara, juga aluminium dan plastik untuk beberapa komponen.²

Rangka dan wadah. Menara yang terbuat dari kayu masih tersedia, namun beberapa komponen dibuat dari bahan yang berbeda, seperti wadah *casing fiber glass* disekitar rangka kayu, saluran masuk udara *louvers* dari *fiber glass*, bahan pengisi dari plastik dan kolam air dingin dari baja. Banyak menara (wadah dan kolam) nya terbuat dari baja yang digalvanis atau, pada atmosfir yang korosif, menara dan/atau dasarnya dibuat dari *stainless steel*. Menara yang lebih besar kadangkala terbuat dari beton. *Fiber glass* juga banyak digunakan untuk wadah dan kolam menara pendingin, sebab dapat memperpanjang umur menara pendingin dan memberi perlindungan terhadap bahan kimia yang berbahaya.

Bahan pengisi. Plastik sangat banyak digunakan sebagai bahan pengisi, termasuk PVC, *polypropylene*, dan polimer lainnya. Jika kondisi air memerlukan penggunaan *splash fill*, *splash fill* kayu yang sudah diberi perlakuan juga banyak digunakan. Disebabkan efisiensi perpindahan panasnya lebih besar, bahan pengisi *film* dipilih untuk penggunaan yang sirkulasi airnya bebas dari sampah yang dapat menghalangi lintasan bahan pengisi.

Nosel. Plastik juga digunakan luas untuk **nosel**. Banyak nosel terbuat dari PVC, ABS, polipropilen, dan nylon yang diisi kaca.

² Bagian 1.3 diambil dari *Menara Pendingin*. Dalam: Efisiensi Energi pada Utilitas Listrik. Bab 7, hal. 135-151. 2004, dengan izin dari Biro Efisiensi Energi, Kementerian Tenaga, India.

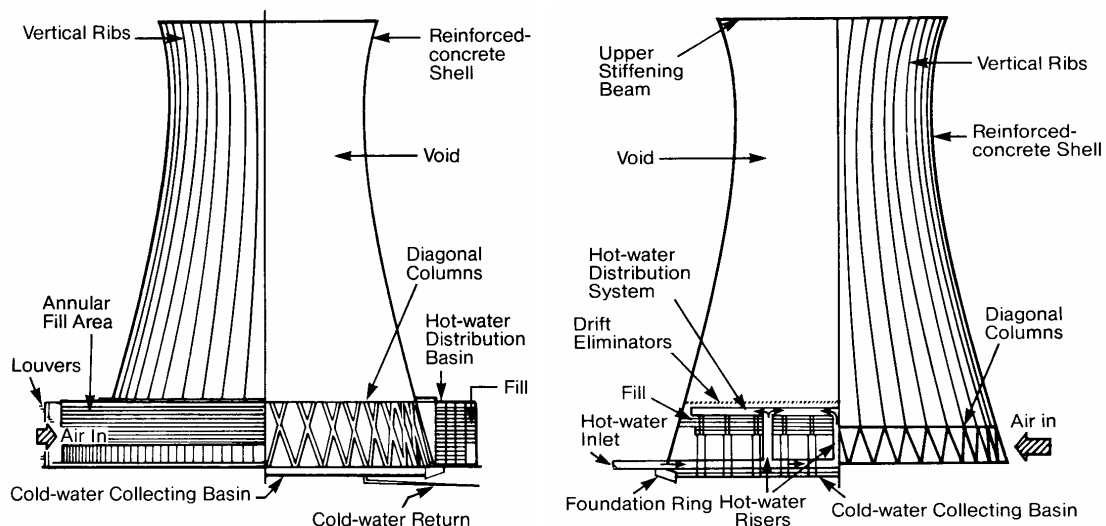
Fan. Bahan yang biasa digunakan untuk fan adalah alumunium, *fiber glass* dan baja yang digalvanis celup panas. Baling-baling fan terbuat dari baja galvanis, alumunium, plastik yang diperkuat oleh *fiber glass* cetak.

2. JENIS-JENIS MENARA PENDINGIN

Bagian ini menjelaskan dua jenis utama menara pendingin: menara pendingin jenis *natural draft* dan jenis *mechanical draft*.

2.1 Menara pendingin jenis *natural draft*

Menara pendingin jenis *natural draft* atau hiperbola menggunakan perbedaan suhu antara udara ambien dan udara yang lebih panas dibagian dalam menara. Begitu udara panas mengalir ke atas melalui menara (sebab udara panas akan naik), udara segar yang dingin disalurkan ke menara melalui saluran udara masuk di bagian bawah. Tidak diperlukan fan dan disana hampir tidak ada sirkulasi udara panas yang dapat mempengaruhi kinerja. Kontruksi beton banyak digunakan untuk dinding menara dengan ketinggian hingga mencapai 200 m. Menara pendingin tersebut kebanyakan hanya digunakan untuk jumlah panas yang besar sebab struktur beton yang besar cukup mahal.



Gambar 2. Menara pendingin natural draft aliran melintang

(Gulf Coast Chemical Commercial Inc, 1995)

Terdapat dua jenis utama menara *natural draft*:

- Menara aliran melintang (Gambar 2): udara dialirkan melintasi air yang jatuh dan bahan pengisi berada diluar menara.
- Menara dengan aliran yang berlawanan arah (Gambar 3): udara dihisap melalui air yang jatuh dan oleh karena itu bahan pengisi terletak dibagian dalam menara, walaupun desain tergantung pada kondisi tempat yang spesifik.

2.2 Menara Pendingin Draft Mekanik

Menara *draft* mekanik memiliki fan yang besar untuk mendorong atau mengalirkan udara melalui air yang disirkulasi. Air jatuh turun diatas permukaan bahan pengisi, yang membantu

untuk meningkatkan waktu kontak antara air dan udara – hal ini membantu dalam memaksimalkan perpindahan panas diantara keduanya. Laju pendinginan menara *draft* mekanis tergantung pada banyak parameter seperti diameter fan dan kecepatan operasi, bahan pengisi untuk tahanan sistim dll.

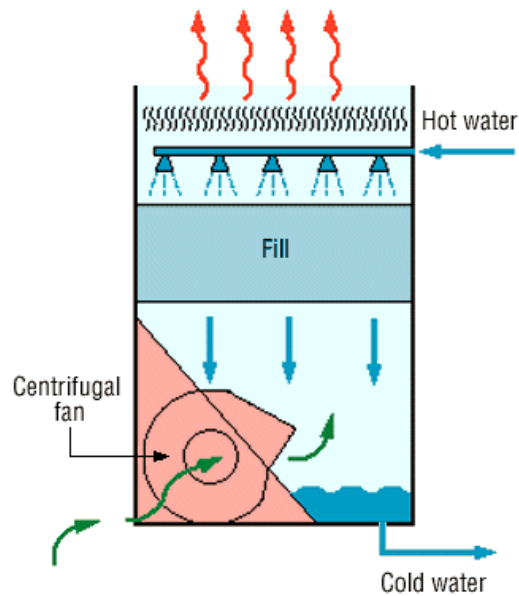
Menara *draft* mekanik tersedia dalam range kapasitas yang besar. Menara tersedia dalam bentuk rakitan pabrik atau didirikan dilapangan – sebagai contoh menara beton hanya bisa dibuat dilapangan.

Banyak menara telah dibangun dan dapat digabungkan untuk mendapatkan kapasitas yang dikehendaki. Jadi, banyak menara pendingin yang merupakan rakitan dari dua atau lebih menara pendingin individu atau “sel”. Jumlah sel yang mereka miliki, misalnya suatu menara delapan sel, dinamakan sesuai dengan jumlah selnya. Menara dengan jumlah sel banyak, dapat berupa garis lurus, segi empat, atau bundar tergantung pada bentuk individu sel dan tempat saluran udara masuk ditempatkan pada sisi atau dibawah sel.

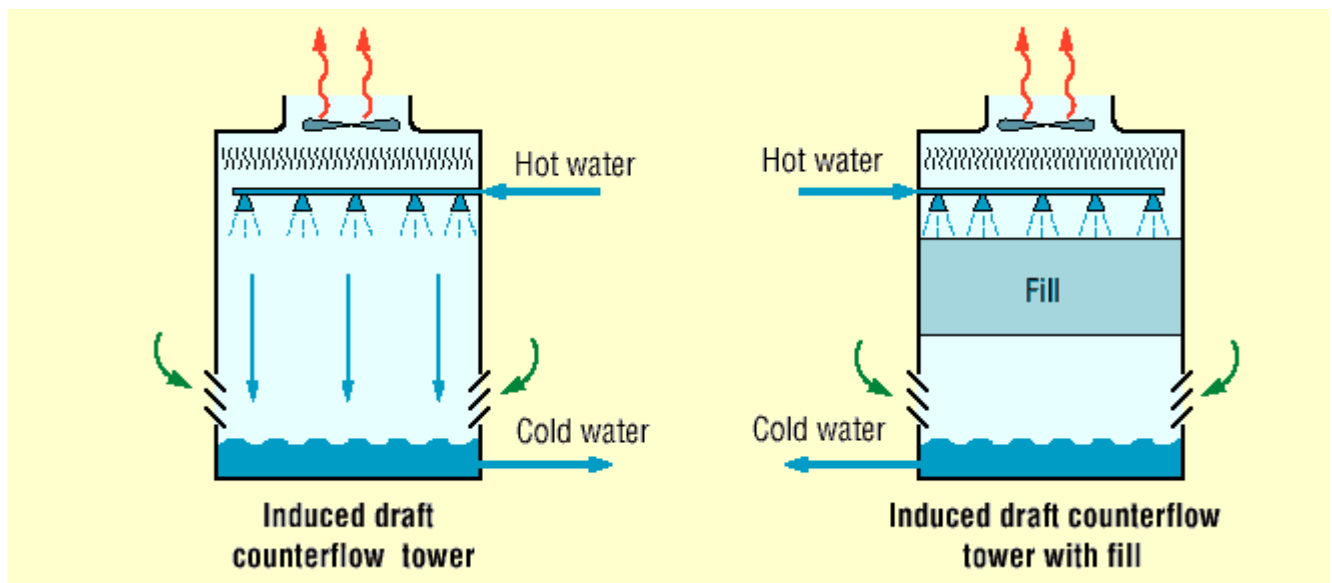
Tiga jenis menara draft mekanik dijelaskan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Ciri-ciri berbagai jenis menara pendingin *draft* (berdasarkan pada AIRAH)

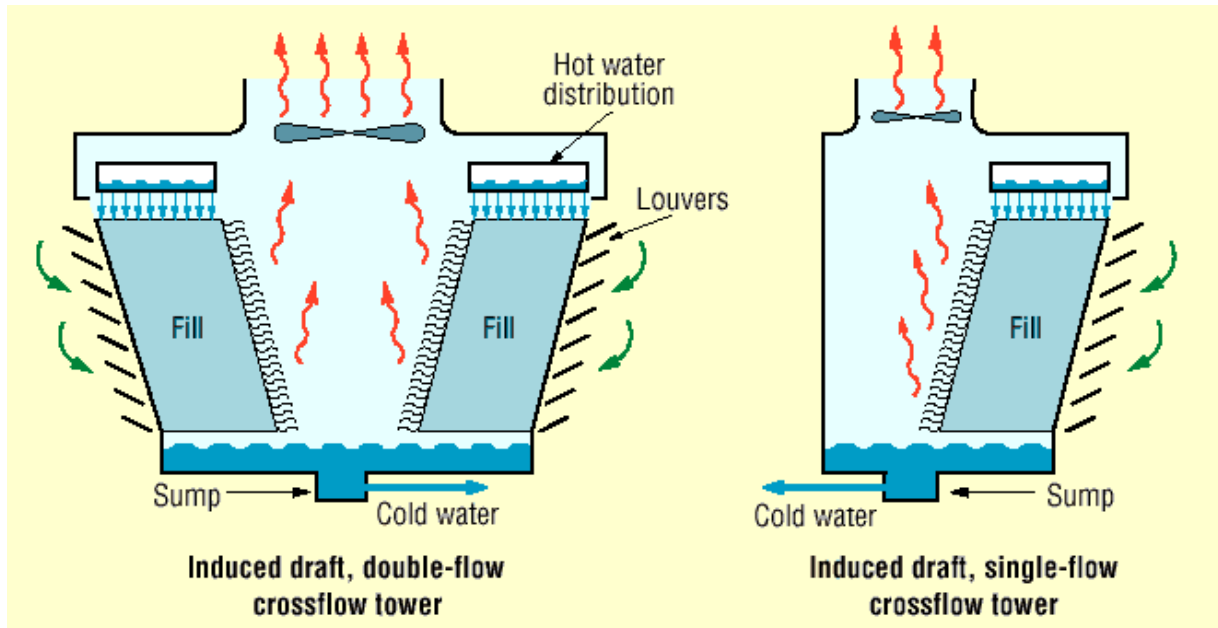
Jenis menara pendingin	Keuntungan	Kerugian
<u>Menara pendingin <i>forced draft</i></u> (Gambar 4): udara dihembuskan ke menara oleh sebuah fan yang terletak pada saluran udara masuk	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cocok untuk resistansi udara yang tinggi karena adanya fan dengan blower sentrifugal ▪ Fan relatif tidak berisik 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Resirkulasi karena kecepatan udara masuk yang tinggi dan udara keluar yang rendah, yang dapat diselesaikan dengan menempatkan menara di ruangan pabrik digabung dengan saluran pembuangan
<u>Menara pendingin aliran melintang <i>induced draft</i></u> (Gambar 5): <ul style="list-style-type: none"> ▪ Air masuk pada puncak dan melewati bahan pengisi ▪ Udara masuk dari salah satu sisi (menara aliran tunggal) atau pada sisi yang berlawanan (menara aliran ganda) ▪ Fan <i>induced draft</i> mengalirkan udara melintasi bahan pengisi menuju saluran keluar pada puncak menara 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Lebih sedikit resirkulasi daripada menara <i>forced draft</i> sebab kecepatan keluarnya 3 hingga 4 kali lebih tinggi daripada udara masuk 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fan dan mekanisme penggerak motor dibutuhkan yang tahan cuaca terhadap embun dan korosi sebab mereka berada pada jalur udara keluar yang lembab
<u>Menara pendingin aliran berlawanan <i>induced draft</i></u> (Gambar 6): <ul style="list-style-type: none"> ▪ Air panas masuk pada puncak ▪ Udara masuk dari bawah dan keluar pada puncak ▪ Menggunakan fan <i>forced</i> dan <i>induced draft</i> 		



Gambar 4. Menara Pendingin *Forced Draft* (REFERENSI)



Gambar 5. Menara pendingin *induced draft* dengan aliran berlawanan (GEO4VA)



Gambar 6. Menara pendingin *induced draft* dengan aliran melintang (GEO4VA)

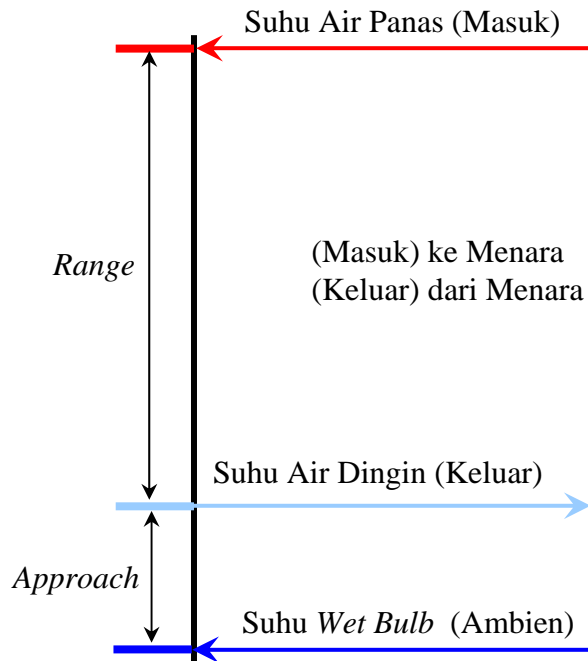
3. PENGKAJIAN TERHADAP MENARA PENDINGIN

Bagian ini menjelaskan tentang bagaimana kinerja tenaga pendinginan dapat dikaji.³ Kinerja menara pendingin dievaluasi untuk mengkaji tingkat *approach* dan *range* saat ini terhadap nilai desain, mengidentifikasi area terjadinya pemborosan energi dan memberikan saran perbaikan.

Selama evaluasi kinerja, peralatan pemantauan yang *portable* digunakan untuk mengukur parameter-parameter berikut:

- Suhu udara *wet bulb*
- Suhu udara *dry bulb*
- Suhu air masuk menara pendingin
- Suhu air keluar menara pendingin
- Suhu udara keluar
- Pembacaan listrik motor pompa dan fan
- Laju alir air
- Laju alir udara

³ Bagian 1.2 didasarkan pada *Menara Pendingin*. Dalam: Efisiensi Energi pada Utilitas Listrik. Bab 7, hal. 135-151. 2004, dengan izin dari Biro Efisiensi Energi, Kementerian Tenaga, India.



Gambar 7. *Range* dan *approach* menara pendingin

Parameter terukur tersebut kemudian digunakan untuk menentukan kinerja menara pendingin dengan beberapa cara. Yaitu:

- a) **Range** (lihat Gambar 7). Ini merupakan perbedaan antara suhu air masuk dan keluar menara pendingin. *Range* CT yang tinggi berarti bahwa menara pendingin telah mampu menurunkan suhu air secara efektif, dan kinerjanya bagus. Rumusnya adalah:

$$\text{Range CT (}^{\circ}\text{C)} = [\text{suhu masuk CW (}^{\circ}\text{C)} - \text{suhu keluar CW (}^{\circ}\text{C)}]$$

- b) **Approach** (lihat Gambar7). Merupakan perbedaan antara suhu air dingin keluar menara pendingin dan suhu *wet bulb* ambien. Semakin rendah *approach* semakin baik kinerja menara pendingin. Walaupun, *range* dan *approach* harus dipantau, '*approach*' merupakan indikator yang lebih baik untuk kinerja menara pendingin.

$$\text{Approach CT (}^{\circ}\text{C)} = [\text{suhu keluar CW (}^{\circ}\text{C)} - \text{suhu wet bulb (}^{\circ}\text{C)}]$$

- c) **Efektivitas**. Merupakan perbandingan antara *range* dan *range* ideal (dalam persentase), yaitu perbedaan antara suhu masuk air pendingin dan suhu *wet bulb* ambien, atau dengan kata lain adalah $= \text{Range} / (\text{Range} + \text{Approach})$. Semakin tinggi perbandingan ini, maka semakin tinggi efektivitas menara pendingin.

$$\text{Efektivitas CT (\%)} = 100 \times (\text{suhu CW} - \text{suhu keluar CW}) / (\text{suhu masuk CW} - \text{suhu WB})$$

- d) **Kapasitas pendinginan**. Merupakan panas yang dibuang dalam kKal/jam atau TR, sebagai hasil dari kecepatan aliran masa air, panas spesifik dan perbedaan suhu.
- e) **Kehilangan penguapan**. Merupakan jumlah air yang diuapkan untuk tugas pendinginan. Secara teoritis jumlah penguapan mencapai 1,8 m³ untuk setiap 10.000.000 kKal panas yang dibuang. Rumus berikut dapat digunakan (Perry):

Kehilangan penguapan (m^3/jam) = $0,00085 \times 1,8 \times \text{laju sirkulasi } (\text{m}^3/\text{jam}) \times (T_1 - T_2)$
 $T_1 - T_2$ = perbedaan suhu antara air masuk dan keluar

- f) **Siklus konsentrasi** (C.O.C). Merupakan perbandingan padatan terlarut dalam air sirkulasi terhadap padatan terlarut dalam air *make up*.
- g) **Kehilangan Blow down** tergantung pada siklus konsentrasi dan kehilangan penguapan dan dihitung dengan rumus:

$$\text{Blow down} = \text{Kehilangan penguapan} / (\text{C.O.C.} - 1)$$

- h) **Perbandingan Cair/Gas (L/G)**. Perbandingan L/G menara pendingin merupakan perbandingan antara laju alir massa air dan udara. Menara pendingin memiliki nilai desain tertentu, namun variasi karena musim memerlukan pengaturan dan perubahan laju alir air dan udara untuk mendapatkan efektivitas terbaik menara pendingin. Pengaturan dapat dilakukan dengan perubahan beban kotak air atau pengaturan sudut siripnya. Aturan termodinamika juga mengatakan bahwa panas yang dibuang dari air harus sama dengan panas yang diserap oleh udara sekitarnya. Oleh karena itu rumus berikut dapat digunakan:

$$L(T_1 - T_2) = G(h_2 - h_1)$$

$$L/G = (h_2 - h_1) / (T_1 - T_2)$$

Dimana:

L/G = perbandingan aliran massa cair terhadap gas (kg/kg)

T1 = suhu air panas ($^{\circ}\text{C}$)

T2 = suhu air dingin ($^{\circ}\text{C}$)

h_2 = entalpi uap campuran udara-air pada suhu *wet-bulb* keluar (satunya sama dengan diatas)

h_1 = entalpi uap campuran udara-air pada suhu *wet-bulb* masuk (satunya sama dengan diatas)

4. PELUANG-PELUANG EFISIENSI ENERGI

Bagian ini membahas mengenai area untuk perbaikan efisiensi energi menara pendingin. Area utama untuk penghematan energi adalah:⁴

- Pemilihan menara pendingin yang benar (sebab aspek struktural menara pendingin tidak dapat diubah setelah dipasang)
- Bahan pengisi
- Sistem distribusi pompa dan air
- Fan dan motor

4.1 Pemilihan menara pendingin yang benar

⁴ Bagian 1.2 didasarkan pada *Menara Pendingin*. Dalam: Efisiensi Energi pada Utilitas Listrik. Bab 7, hal. 135-151. 2004, dengan izin dari Biro Efisiensi Energi, Kementerian Tenaga, India.

Setelah sebuah menara pendingin dipasang ditempatnya sangat sulit untuk memperbaiki kinerja energinya. Sejumlah faktor berpengaruh pada kinerja menara pendingin dan harus dipertimbangkan bilamana memilih sebuah menara pendingin, yaitu: kapasitas, *range*, *approach*, beban panas, suhu *wet bulb*, dan hubungan antara faktor-faktor tersebut. Hal ini akan dijelaskan dibawah.

4.1.1 Kapasitas

Pemborosan panas (dalam kKal/jam) dan laju alir tersirkulasi (m^3/jam) merupakan suatu indikasi kapasitas menara pendingin. Walau begitu, parameter-parameter desain tersebut tidak cukup untuk mengerti kinerja menara pendingin. Sebagai contoh, sebuah menara pendingin yang digunakan untuk mendinginkan $4540 \text{ m}^3/\text{jam}$ hingga mencapai *range* suhu $13,9^\circ\text{C}$ mungkin lebih besar dari menara pendingin yang mendinginkan $4540 \text{ m}^3/\text{jam}$ dengan *range* suhu $19,5^\circ\text{C}$. Oleh karena itu parameter-parameter desain juga diperlukan.

4.1.2 Range

Range ditentukan bukan oleh menara pendingin, namun oleh proses yang melayaninya. *Range* pada penukar panas ditentukan seluruhnya oleh beban panas dan laju sirkulasi air yang melalui penukar panas dan menuju ke air pendingin. *Range* merupakan fungsi dari beban panas dan aliran yang disirkulasikan melalui sistim:

$$\text{Range } ^\circ\text{C} = \text{Beban panas (dalam kKal/jam)} / \text{Laju sirkulasi air (l/jam)}$$

Menara pendingin biasanya dikhususkan untuk mendinginkan laju aliran tertentu dari satu suhu ke suhu lainnya pada suhu *wet bulb* tertentu. Sebagai contoh, menara pendingin mungkin ditentukan untuk mendinginkan $4540 \text{ m}^3/\text{jam}$ dari $48,9^\circ\text{C}$ ke $32,2^\circ\text{C}$ pada suhu *wet bulb* $26,7^\circ\text{C}$.

4.1.3 Approach

Sebagaimana aturan yang umum, semakin dekat *approach* terhadap *wet bulb*, akan semakin mahal menara pendinginnya karena meningkatnya ukuran. Biasanya *approach* $2,8^\circ\text{C}$ terhadap desain *wet bulb* merupakan suhu air terdingin yang digaransi pembuat menara pendingin. Bila ukuran menara harus dipilih, maka *approach* menjadi sangat penting, yang kemudian diikuti oleh laju alir, dan *range* dan *wet bulb* mungkin akan menjadi semakin kurang penting.

$$\text{Approach } (5,5^\circ\text{C}) = \text{Suhu air dingin } 32,2^\circ\text{C} - \text{Suhu } \textit{wet bulb} (26,7^\circ\text{C})$$

4.1.4 Beban panas

Beban panas yang diberikan pada menara pendingin ditentukan oleh proses yang dilayaninya. Tingkat pendinginan yang diperlukan dikontrol oleh suhu operasi proses yang dikehendaki. Pada kebanyakan kasus, suhu operasi yang rendah adalah yang dikehendaki untuk meningkatkan efisiensi proses atau untuk memperbaiki kualitas atau kuantitas produk. Meskipun begitu, pada beberapa penggunaan (misalnya mesin pembakaran internal) suhu operasi yang tinggi adalah yang dikehendaki. Ukuran dan harga menara pendingin meningkat dengan meningkatnya beban panas. Pembelian peralatan dengan ukuran terlalu kecil (jika beban panas yang dihitung terlalu rendah) dan peralatan dengan ukuran berlebih/ terlalu besar (jika beban panas yang dihitung terlalu tinggi) adalah sesuatu yang harus diperhatikan.

Beban panas proses dapat bervariasi tergantung pada proses yang terlibat didalamnya dan oleh karena itu sukar untuk menentukan secara tepat. Dengan kata lain, beban panas penyejuk udara/ AC dan refrigerasi dapat ditentukan dengan ketepatan yang lebih tinggi.

Informasi sudah tersedia untuk kebutuhan pembuangan panas berbagai jenis peralatan tenaga. Daftar contohnya adalah sebagai berikut:

- Kompresor udara
 - Satu tahap - 129 kKal/kW/jam
 - Satu tahap dengan *after cooler* - 862 kKal/kW/jam
 - Dua tahap dengan *intercooler* - 518 kKal/kW/jam
 - Dua tahap dengan *intercooler* dan *after cooler* - 862 kKal/kW/jam
- Pendinginan, Kompresi - 63 kKal/menit/TR
- Pendinginan, Absorpsi - 127 kKal/menit/TR
- Kondensor Turbin Uap - 555 kKal /kg *steam*
- Mesin Diesel, Empat Siklus, *Supercharged* - 880 kKal /kW/jam
- Mesin Gas Alam, Empat Siklus - 1523 kKal /kW/jam (= 18 kg/cm² kompresi)

4.1.5 Suhu *wet bulb*

Suhu *bulb temperature* merupakan faktor penting dalam kinerja peralatan pendingin air yang teruapkan, sebab merupakan suhu terendah dimana air akan didinginkan. Oleh karena itu, suhu *wet bulb* udara yang masuk ke menara pendingin menentukan tingkat suhu operasi minimum seluruh pabrik, proses, atau sistim. Hal berikut harus dipertimbangkan bila melakukan seleksi awal menara pendingin berdasarkan suhu *wet bulb*:

- Secara teoritis, sebuah menara pendingin akan mendinginkan air menuju suhu *wet bulb*. Walau demikian, dalam prakteknya, air didinginkan ke suhu yang lebih tinggi dari suhu *wet bulb* sebab panasnya perlu dibuang dari menara pendingin.
- Seleksi awal menara yang didasarkan pada suhu desain *wet bulb* harus mempertimbangkan kondisi lokasi menara. Suhu desain *wet bulb* juga harus tidak boleh lebih dari 5 persen. Umumnya, desain suhu yang dipilih mendekati suhu *wet bulb* maksimum rata-rata pada musim panas.
- Harus dikonfirmasi apakah suhu *wet bulb* ditentukan sebagai ambien (suhu di area menara pendingin) atau sebagai saluran masuk (suhu masuknya udara ke menara, yang kadangkala dipengaruhi oleh uap buangan yang disirkulai ulang ke menara). Sebagai dampak dari sirkulasi ulang yang tidak diketahui sebelumnya, maka suhu *wet bulb* ambien lebih disukai.
- Suhu air dingin harus cukup rendah untuk menukar panas atau mengembunkan uap pada tingkat suhu optimum. Jumlah dan suhu panas yang ditukar harus dipertimbangkan dalam memilih menara pendingin dan penukar panas supaya ukuran benar dan biayanya terendah.

4.1.6 Hubungan antara *range*, aliran dan beban panas

Range meningkat bila jumlah air yang disirkulasi dan beban panas meningkat. Hal ini berarti bahwa kenaikan *range* sebagai hasil dari beban panas yang ditambahkan memerlukan menara yang lebih besar. Terdapat dua kemungkinan penyebab meningkatnya *range*:

- Suhu air masuk meningkat (dan suhu air dingin yang keluar sama). Dalam hal ini akan ekonomis untuk menginvestasikan alat tambahan untuk penghilangan panas.
- Suhu air keluar berkurang (dan suhu air panas yang masuk sama). Dalam hal ini ukuran menara harus ditingkatkan sebab *approach*nya juga turun, dan hal ini tidak selalu ekonomis.

4.1.7 Hubungan antara *approach* dan suhu *wet bulb*

Desain suhu *wet bulb* ditentukan oleh lokasi geografis. Untuk nilai *approach* tertentu (dan pada *range* konstan dan *range* aliran), semakin tinggi suhu *wet bulb*, makin kecil menara yang diperlukan. Contoh, menara pendingin terpilih yang berkapasitas 4540 m³/jam untuk *range* 16,67°C dan *approach* 4,45°C untuk *wet bulb* 21,11°C akan lebih besar daripada menara yang sama untuk *wet bulb* 26,67°C. Alasannya adalah bahwa udara pada suhu *wet bulb* yang lebih tinggi mampu mengambil lebih banyak panas. Hal ini dapat dijelaskan dengan dua suhu *wet bulb* yang berbeda:

- Setiap kg udara yang masuk menara pada suhu *wet bulb* 21,1°C mengandung 18,86 kKal. Jika udara meninggalkan menara pada suhu *wet bulb* 32,2°C, setiap kg udara mengandung 24,17 kKal. Pada kenaikan 11,1°C, udara mengambil 12,1 kKal per kg of udara.
- Setiap kg udara yang masuk menara pada suhu *wet bulb* 26,67°C mengandung 24,17 kKal. Jika udara meninggalkan menara pada suhu *wet bulb* 37,8°C, setiap kg udara mengandung 39,67 kKal. Pada kenaikan 11,1°C, udara mengambil 15,5 kKal per kg udara, dimana lebih besar dari skenario pertama.

4.2 Pengaruh Media Bahan Pengisi

Dalam menara pendingin, air panas didistribusikan diatas media pengisi dan didinginkan melalui penguapan ketika menuruni menara dan bersentuhan dengan udara. Media pengisi berdampak pada pemakaian energi dalam dua cara:

- Digunakan listrik untuk memompa ke atas bahan pengisi dan untuk fan yang menciptakan *air draft*. Media pengisi yang dirancang secara efisien dengan distribusi air yang cukup, *drift eliminator*, fan, *gearbox* dan motor menyebabkan pemakaian listrik yang lebih rendah.
- Pertukaran panas antara udara dan air dipengaruhi oleh luas permukaan pertukaran panas, lamanya waktu pertukaran panas (interaksi) dan turbulensi dalam air mempengaruhi keseksamaan pencampuran. Media pengisi menentukan keseluruhan diatas dan oleh karena itu mempengaruhi pertukaran panas. Makin besar pertukaran panas, makin efektif menara pendinginnya.

Terdapat tiga jenis bahan pengisi:

- **Media Pengisi Penciprat/ *Splash*.** Media pengisi *splash* menciptakan area perpindahan panas yang dibutuhkan melalui cipratan air diatas media pengisi menjadi butiran air yang kecil. Luas permukaan butiran air adalah luas permukaan perpindahan panas dengan udara.
- **Media pengisi *film*.** Pada pengisi film, air membentuk lapisan tipis pada sisi-sisi lembaran pengisi. Luas permukaan dari lembaran pengisi adalah luas perpindahan panas dengan udara sekitar. Bahan pengisi film dapat menghasilkan penghematan listrik yang signifikan melalui kebutuhan air yang lebih sedikit dan head pompa yang lebih kecil.
- **Bahan pengisi sumbatan rendah/Low-clog *film fills*.** Bahan pengisi sumbatan rendah dengan ukuran *flute* yang lebih tinggi saat ini dikembangkan untuk menangani air yang keruh. Jenis ini merupakan pilihan terbaik untuk air laut karena adanya penghematan daya dan kinerjanya dibandingkan tipe bahan pengisi penciprat konvensional.

Tabel 1: Nilai desain dari berbagai jenis bahan pengisi
(BEE India, 2004; Ramarao; and Shivaraman)

	Splash Fill	Film Fill	Low Clog Film Fill
Rasio L/G yang memungkinkan	1,1 – 1,5	1,5 – 2,0	1,4 – 1,8
Luas Perpindahan Panas yang Efektif	30 – 45 m ² /m ³	150 m ² /m ³	85 - 100 m ² /m ³
Kebutuhan Tinggi Bahan Pengisi	5 – 10 m	1,2 – 1,5 m	1,5 – 1,8 m
Kebutuhan <i>Head</i> Pompa	9 – 12 m	5 – 8 m	6 – 9 m
Kebutuhan Jumlah Udara	Tinggi	Sangat Rendah	Rendah

4.3 Pompa dan Distribusi Air

4.3.1 Pompa

Area untuk perbaikan efisiensi energi dibahas secara rinci dalam bab *Pompa dan Sistem Pemompaan*.

4.3.2 Mengoptimalkan pengolahan air pendingin

Pengolahan air pendingin (misal mengendalikan padatan terlarut, pertumbuhan alga) merupakan hal yang diharuskan untuk menara pendingin yang tidak tergantung kepada jenis media pengisi yang digunakannya. Dengan meningkatnya biaya untuk air, upaya untuk meningkatkan Siklus Konsentrasi (COC), dengan pengolahan air pendingin akan membantu menurunkan keperluan air *make up* secara signifikan. Pada industri besar dan *plant* daya meningkatkan COC kadangkala dianggap sebagai bagi penghematan air.

4.3.3 Memasang penghilang penyimpangan/ *drift eliminators*

Sangat sulit untuk mengesampingkan masalah penyimpangan dalam menara pendingin. Saat ini hampir kebanyakan spesifikasi pengguna akhir mengasumsikan kehilangan karena penyimpangan ini sebesar 0,02%.

Namun karena perkembangan teknologi dan adanya produksi PVC, para pembuat alat telah dapat meningkatkan desain penghilang penyimpangan/ *drift eliminator*. Sebagai hasilnya, kehilangan penyimpangan sekarang dapat mencapai serendah 0,003 – 0,001%.

4.4 Fan menara pendingin

Kegunaan fan menara pendingin adalah menggerakkan jumlah tertentu udara menuju sistem. Fan harus mengatasi resistansi sistem, seperti kehilangan tekanan, untuk menggerakkan udara. Keluaran fan atau kerja yang dilakukan dan kW masuk menentukan efisiensi fan.

Efisiensi fan pada gilirannya akan sangat tergantung pada profil sudu/ *blade*, yaitu:

- Sudu/ *blades* metalik, yang dibuat dengan proses ekstrusi dan pencetakan sehingga sulit untuk memproduksi profil aerodinamik yang ideal.
- Sudu/ *blades* plastik yang diperkuat dengan *fiber* (FRP) biasanya dicetak dengan tangan sehingga lebih mudah untuk menghasilkan profil aerodinamik optimal untuk kondisi tugas yang spesifik. Karena fan FRP ringan, dan hanya memerlukan *torque* penyalan awal yang rendah sehingga memerlukan motor yang lebih rendah, umur *gear box*, motor, dan *bearing* meningkat, dan perawatannya lebih mudah.

Efisiensi sebesar 85-92% dapat dicapai oleh *blades* dengan profil aerodinamis, lengkungan yang optimum, lancip dan rasio koefisien pengangkatan dan penjatuhan yang tinggi. Efisiensi ini secara drastis dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti pembersihan jarak ujung, rintangan terhadap aliran udara dan bentuk saluran masuk, dll.

Kasus-kasus yang dilaporkan adalah dimana *blades* fan plastik yang diperkuat dengan *fiber glass* atau logam telah diganti oleh *blades* FRP berlubang yang efisien. Hasil penghematan energinya sekitar 20-30% dan dengan jangka waktu pengembalian modal 6 hingga 7 bulan (NPC).

Bab Fan dan Blower memberi lebih banyak informasi mengenai fan.

5. DAFTAR PERIKSA OPSI

Bagian ini merupakan daftar opsi yang paling penting untuk meningkatkan efisiensi energi menara pendingin.

- Ikuti pembersihan yang direkomendasikan pihak pembuat mesin disekitar menara pendingin dan relokasikan atau modifikasikan struktur yang mengganggu udara masuk atau keluar.
- Optimalkan sudut *blade* fan menara pendingin dengan dasar musim dan/atau beban
- Perbaiki pembersihan ujung *blade* yang tidak rata dan/atau berlebihan dan keseimbangan fan yang buruk
- Pada menara pendingin tua dengan aliran berlawanan, ganti nosel tua jenis semprot dengan nosel semprot baru bentuk segi empat yang tidak menyumbat.
- Ganti batang pemercik/ *splash bars* dengan bahan pengisi lembaran PVC yang dapat mati sendiri
- Pasang nosel yang menyemburkan pola air lebih seragam
- Bersihkan nosel distribusi menara pendingin yang tersumbat secara teratur
- Seimbangkan aliran ke kolam air panas menara pendingin
- Tutupi kolam air panas untuk meminimalkan pertumbuhan alga yang berkontribusi terhadap kekotoran
- Optimalkan laju alir *blow down*, perhitungkan batasan siklus konsentrasi (COC)
- Ganti *drift eliminators* jenis *slat* dengan penurunan tekanan yang rendah, unit selular PVC yang dapat mati sendiri
- Batasi aliran dengan beban lebih besar dari nilai desain
- Jaga suhu air pendingin ke tingkat minimum dengan cara (a) pemisahan beban panas tinggi seperti tungku, kompresor udara, pembangkit DG dan (b) isolasikan menara pendingin dari penggunaan sensitif seperti *plant A/C*, kondensor *plant* daya dll. *Catatan: Kenaikan suhu air pendingin sebesar 1°C akan meningkatkan pemakaian listrik kompresor A/C sebesar 2,7%. Penurunan suhu air pendingin sebesar 1°C dapat memberikan penghematan laju panas sebesar 5 kKal/kWh pada plant tenaga panas.*
- Pantau approach, efektifitas dan kapasitas pendinginan untuk secara sinambung mengoptimalkan kinerja menara pendingin, namun pertimbangkan variasi musim dan variasi permukaannya

- Pantau perbandingan cairan terhadap gas dan laju alir air pendingin dan kerugian dari nilai desain dan variasi musim. Contoh: meningkatkan beban air selama musim panas dan meningkatkan waktu jika *approachnya* tinggi dan tingkatkan aliran udara selama musim panas dan ketika *approachnya* rendah.
- Pikirkan tindakan perbaikan COC untuk penghematan air
- Pertimbangkan pemakaian *blade* plastik yang diperkuat dengan *fiber* untuk penghematan energi
- Kendalikan fan menara pendingin berdasarkan suhu air keluar terutama pada unit yang kecil
- Periksa pompa air pendingin secara teratur untuk memaksimalkan efisiensinya

6. LEMBAR KERJA

Bagian ini meliputi lembar kerja sebagai berikut:

1. Kunci Spesifikasi Teknis
2. Kinerja Menara Pendingin

Lembar Kerja 1 : KUNCI SPESIFIKASI TEKNIS

No.	Referensi Parameter	Satuan	Referensi Menara Pendingin	
			CT 1	CT 2
1.	Jenis Menara Pendingin			
2.	Jumlah Menara			
3.	Jumlah Sel Setiap Menara			
4.	Luas Permukaan per Sel			
5.	Aliran Air	m ³ /jam		
6.	Daya Pemompaan	kW		
7.	<i>Head</i> Pemompaan	m		
8.	Daya Fan	kW		
9.	Suhu Desain Air Panas	°C		
10.	Suhu Desain Air Dingin	°C		
11.	Suhu Desain <i>Wet Bulb</i>	°C		

Lembar Kerja 2: KINERJA MENARA PENDINGIN

No.	Referensi Parameter	Satuan	Menara Pendingin (CT)	
			CT 1	CT 2
1.	Suhu <i>dry bulb</i>	°C		
2.	Suhu <i>wet bulb</i>	°C		
3.	Suhu masuk CT	°C		
4.	Suhu keluar CT	°C		
5.	<i>Range</i>	°C		
6.	<i>Approach</i>	°C		
7.	Efektifitas CT	%		
8.	Aliran air rata-rata	kg/jam		
9.	Jumlah udara rata-rata	kg/jam		
10.	Perbandingan cair/gas (L/G)	kg air/kg udara		
11.	Kehilangan penguapan	m ³ /jam		
12.	Pembebanan panas CT	kKal/jam		

7. REFERENSI

Australian Institute of Air Conditioning Refrigeration and Heating (AIRAH). *Types of Cooling Towers*. In: Selecting a Cooling Tower Level 1 – Participant Guide Version 1.0 www.airah.org.au/downloads/CPD-samplepg.pdf.

American Society of Heating Refrigeration and Air Conditioning. *ASHRAE Handbook*. Fourth edition. 2001

National Productivity Council (NPC). *NPC Case Studies*.

Bureau of Energy Efficiency, Ministry of Power, India. *Cooling Towers*. In: Energy Efficiency in Electrical Utilities. Chapter 7, pg 135 - 151. 2004

Perry. *Perry's Chemical Engineers Handbook*. Page 12-17.

Pacific Northwest National Laboratory, *Photo Library*. 2001. www.pnl.gov, www.cce.iastate.edu/courses/ce525/Cooling%20Towers.doc

Gulf Coast Chemical Commercial Inc. *Cooling Systems*. 1995 www.gc3.com/techdb/manual/coolfs.htm

GEO4VA, Virginia Department of Mines, Minerals and Energy. *Ground Loop Configuration and Installation*. www.geo4va.vt.edu/A2/A2.htm

Ramarao, R.A. Paltech Cooling Towers and Equipment Ltd. *Design of Fills*.

Shivaraman, T. Shiriram Towertech Ltd. *Selection and Design of Cooling Towers*.

www.shiriramtowertech.com

Copyright:

Copyright © United Nations Environment Programme (year 2006)

This publication may be reproduced in whole or in part and in any form for educational or non-profit purposes without special permission from the copyright holder, provided acknowledgement of the source is made. UNEP would appreciate receiving a copy of any publication that uses this publication as a source. No use of this publication may be made for resale or any other commercial purpose whatsoever without prior permission from the United Nations Environment Programme.

Hak Cipta:

Hak cipta © United Nations Environment Programme (tahun 2006)

Publikasi ini boleh digandakan secara keseluruhan atau sebagian dalam segala bentuk untuk pendidikan atau keperluan non-profit tanpa ijin khusus dari pemegang hak cipta, harus mencantumkan sumber yang membuat. UNEP akan menghargai pengiriman salinan dari setiap publikasi yang menggunakan publikasi ini sebagai sumber. Tidak diijinkan untuk menggunakan publikasi ini untuk dijual belikan atau untuk keperluan komersial lainnya tanpa ijin khusus dari United Nations Environment Programme.

Disclaimer:

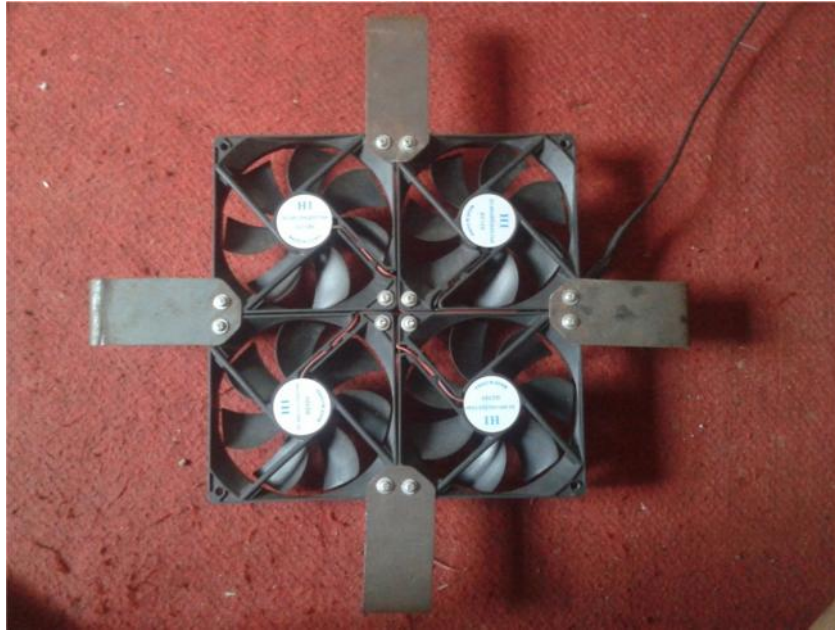
This energy equipment module was prepared as part of the project “Greenhouse Gas Emission Reduction from Industry in Asia and the Pacific” (GERIAP) by the National Productivity Council, India. While reasonable efforts have been made to ensure that the contents of this publication are factually correct and properly referenced, UNEP does not accept responsibility for the accuracy or completeness of the contents, and shall not be liable for any loss or damage that may be occasioned directly or indirectly through the use of, or reliance on, the contents of this publication, including the translation into other languages from English. This document is a translation of the chapter in English and does not constitute an official United Nations publication.

Disclaimer:

Modul peralatan energi ini dibuat sebagai bagian dari proyek “Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca dari Industri di Asia dan Pasifik/ Greenhouse Gas Emission Reduction from Industry in Asia and the Pacific” (GERIAP) oleh Badan Produktivitas Nasional, India. Sementara upaya-upaya masih dilakukan untuk menjamin bahwa isi dari publikasi ini didasarkan fakta-fakta yang benar, UNEP tidak bertanggung-jawab terhadap ketepatan atau kelengkapan dari materi, dan tidak dapat dikenakan sanksi terhadap setiap kehilangan atau kerusakan baik langsung maupun tidak langsung terhadap penggunaan atau kepercayaan pada isi publikasi ini

LAMPIRAN B

Lampiran B



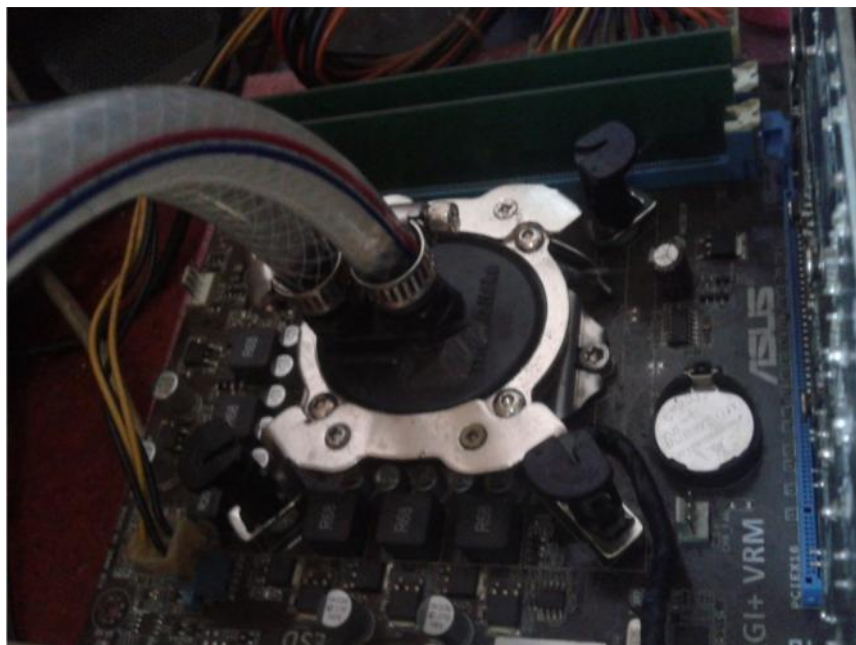
Gambar 1. *Fan Cooling Tower*



Gambar 2. Skema Instalasi Pengujian



Gambar 3. *Flowmeter*



Gambar 4. Peletakan *Waterblock* pada *Motherboard*



Gambar 5. *Thermometer Thermocouple*



Gambar 6. *Fill*

LAMPIRAN C

BIODATA PENULIS



Nama	: Stevan Indo Martha
Jenis kelamin	: Laki-laki
Tanggal lahir	: 30 Maret 1989
Tempat lahir	: Arga Makmur
Anak ke	: 1 dari 3 bersaudara
Agama	: Islam
Kewarganegaraan	: Indonesia
Orang tua	
Ayah	: Asril
Ibu	: Netti Anggraini
Alamat	: JL. Budi Utomo kel. Beringin Raya Kec. Muara Bangkahulu Kota Bengkulu
Telp	: 0853 8066 0008
E-mail	: ychasta@yahoo.com

1. RIWAYAT PENDIDIKAN

SD

Tahun	: 1995-2001
Nama Institusi	: Sekolah Dasar (SD) Negeri 23 Arga Makmur
Kota Institusi	: Bengkulu Utara

SMP

Tahun	: 2001-2004
Nama Institusi	: Sekolah Menengah Pertama (SMP) Negeri 1 Arga Makmur
Kota Institusi	: Bengkulu Utara

SMA

Tahun	: 2004-2007
Nama Institusi	: Sekolah Menengah Atas (SMA) Negeri 1 Arga Makmur
Jurusan /Program Studi	: IPA
Kota Institusi	: Bengkulu Utara

Perguruan Tinggi

Tahun : 2007-Sekarang.
Jurusan /Program Studi : Teknik Mesin
Nama Perguruan Tinggi : Universitas Bengkulu

2. PENGALAMAN ORGANISASI

1. Wakil Ketua HIPA SMA
2. Pengurus Keluarga Mahasiswa Mesin Universitas Bengkulu Bidang Minat Dan Bakat. (2009-2011)
3. Anggota PKK (Pengenaln Kehidupan Kampus) Universitas Bengkulu Bidang Perlengkapan Tahun 2009

3. PENGALAMAN KERJA

1. Kerja Praktek di PT. Ruhaak Phala Industri, Tangerang.
2. Staf IT di rumah Sakit Swasta Bengkulu.